

学校编码: 10384

密级_____

学号: 22420101151357

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

台湾海峡台风浪及寒潮浪的数值模拟
和数值实验

The Numerical Simulation and Experiment of Typhoon
Wave and Cold Wave in Taiwan Strait

袁凯瑞

指导教师姓名: 商少平教授

专 业 名 称: 物理海洋学

论文提交日期: 2013 年 11 月

论文答辩日期: 2013 年 11 月

2013 年 11 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为厦门大学风暴潮(商少平)课题组经费和海洋公益性行业专项课题的研究成果,在遥感与数值模拟实验室完成。

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

- () 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。
- () 2. 不保密，适用上述授权。

声明人（签名）：

年 月 日

目录

摘要	I
Abstract	III
第一章 绪论	1
1.1 研究意义和目的	1
1.2 国内外海浪数值模型研究综述	2
1.2.1 国外海浪模型研究综述	2
1.2.2 国内海浪模型研究综述	4
1.2.3 SWAN 模式应用综述	4
1.3 本文的研究内容与技术路线	6
1.3.1 研究内容	6
1.3.2 技术路线	6
第二章 模型简介	7
2.1 SWAN 模型	7
2.1.1 SWAN 模型基本控制方程	7
2.2.2 源项处理	8
2.2.3 SWAN 差分格式	13
2.2.4 初始条件和边界条件	14
2.2 台风风场模型	14
2.2.1 Jelesnianski 台风风场模型	14
2.2.2 藤田台风风场模型	15
2.2.3 台湾海峡台风风场模型（陈德文, 2006）	16
第三章 台湾海峡台风浪数值模拟及数值试验	18
3.1 研究区域	18
3.2 模型要素控制	18
3.3 几种不同风场模型的台风浪数值模拟	19

3.3.1 台风简介.....	19
3.3.2 模拟结果比较分析.....	20
3.4 台风浪后报检验.....	28
3.5 台风浪数值实验.....	30
3.5.1 数值实验 1.....	30
3.5.2 数值实验 2.....	32
3.6 本章小结.....	33
第四章 台湾海峡冬季寒潮浪数值模拟	35
4.1 波浪实测资料和参数控制.....	35
4.2 寒潮大风风场.....	36
4.3 寒潮浪数值模拟及结果分析.....	36
4.3.1 7 日 13 时~9 日 4 时寒潮浪的数值模拟	36
4.3.2 14 日 16 时~17 日 4 时寒潮浪的数值模拟	38
4.4 本章小结.....	39
第五章 总结与展望.....	41
5.1 总结.....	41
5.2 展望.....	42
参考文献.....	44
致谢.....	49
攻读硕士学位期间发表及完成的论文.....	50

CONTENTS

Abstract(Chinese)	I
Abstract(English)	III
Chapter.1 Introduction	1
1.1 Significant and Goal	1
1.2 Review of the Wave Studies	2
1.2.1 Wave studies in foreign	2
1.2.2 Wave studies in China	4
1.2.3 Studies of SWAN model	4
1.3 Content and Scheme of the Study	6
1.3.1 Content	6
1.3.2 Scheme	6
Chapter.2 Model Introduction	7
2.1 SWAN Model	7
2.1.1 Basic model equations	7
2.2.2 Source terms handling	8
2.2.3 SWAN difference scheme	13
2.2.4 The initial and boundary conditions	14
2.2 Typhoon Wind Field Models	14
2.2.1 Jelesnianski typhoon wind field model	14
2.2.2 Fujita typhoon wind field model	15
2.2.3 Typhoon wind field model of Taiwan Strait	16
Chapter.3 Numerical Simulation and Numerical Experiment in Taiwan Strait	18
3.1 Study Area	18
3.2 Model Parameterize Control	18
3.3 Simulation of Typhoon Waves Driven by Several Different Wind Fields	19

3.3.1 Typhoon introduction	19
3.3.2 Comparison and analysis of simulated results	20
3.4 Hind cast of Typhoon Wave	28
3.5 Numerical Experiments of Typhoon Waves	30
3.5.1 Numerical experiment 1	30
3.5.2 Numerical experiment 2	32
3.6 Chapter Summary	33
Chapter.4 Numerical Simulation of Cold Waves in Taiwan Strait	35
4.1 Observed Wave Data and Parameter Control	35
4.2 Cold Wind Field	36
4.3 Numerical Simulation of Cold Waves and Results Analysis	36
4.3.1 Numerical simulation of cold wave from 13:00 on 7th to 4:00 on 9th	36
4.3.2 Numerical simulation of cold wave from 16:00 on 14th to 4:00 on 17th	38
4.5 Chapter Summary	39
Chapter.5 Summary and Outlook	41
5.1 Summary	41
5.2 Outlook	42
References	43
Acknowledgements	49
Published or Accomplished Papers	50

摘要

本文运用第三代近岸海浪模式 SWAN 对三场台风在三种不同台风模型风场下引起的台风浪进行数值模拟;通过两个数值实验得到台风中心分别停留在福建沿岸或台湾岛中部时,台风浪有效波高的分布规律;利用经实测资料校正的卫星遥感数据模拟 2013 年初 2 次寒潮浪。

运用 SWAN 对 0813 号“森拉克”、0815 号“蔷薇”和 0908 号“莫拉克”三场台风的台风浪数值模拟结果显示:用“台湾海峡台风风场模型(陈德文, 2006)”计算的有效波高与实测的有效波高符合最好,三场台风浪有效波高的平均绝对误差为 0.65 m,其中灾害性海浪峰值的平均绝对误差为 0.16 m,说明该模拟方案对台风浪尤其是灾害性台风浪的模拟是成功的。进而运用该方案对 2013 年“天兔”台风所引起的台风浪进行了后报检验,后报结果与海上浮标实测值符合较好,表明该模拟方案可用于台湾海峡台风浪预报的参考。

通过台风中心停留于福建海岸的数值实验,得到有效波高在福建沿岸的分布规律:①有效波高最大值出现在台风中心右侧(即由海向陆方向的右侧)最大风速半径处,这正好与向岸风最大值出现位置相一致;②右侧的最大风速半径之外,有效波高随距离缓慢减小;③从右侧的最大风速半径处到台风中心,有效波高迅速减小;④从台风中心到左侧最大风速半径处,有效波高仍有一定的值;⑤在左侧最大风速半径之外,有效波高几乎为零。该规律可等同台风在平直海岸停留时台风浪的有效波高分布规律。

通过台风中心停留在台湾岛中部数值实验,得到有效波高在沿海峡中线的分布规律:陈德文台风模型风场和 Holland 台风模型风场引起的有效波高,其最大值均出现在海峡中部附近,沿两侧随距离的增大而减小。陈德文台风模型风场在各站引起的有效波高都比 Holland 台风模型风场引起的有效波高大 1 m 左右。

对台湾海峡两次寒潮大风过程在两个浮标站引起的有效波高的数值模拟结果显示:有效波高模拟值与实测值较符合,平均绝对误差为 0.30 m,峰值平均绝对误差为 0.23 m。这对于台湾海峡寒潮浪的预报具有参考价值。

关键词：台湾海峡；SWAN 模式；台风浪；寒潮浪；数值模拟；数值实验

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

The third generation wave model SWAN was applied to simulate 3 typhoon waves in Taiwan Strait driven by different typhoon wind models. Then the distribution of typhoon wave was simulated when typhoon stayed in the Fujian coast or the middle of Taiwan Island. Two cold waves early in 2013 was also simulated using remote sensing wind which is corrected by the buoy measured wind.

The simulation of typhoon waves during 0813 SINLAKU, 0815 JANGMI and 0908 MORAKOT shows that the significant wave height driven by the Taiwan Strait Typhoon Wind Model(Chen, 2006)fits best with the buoy observed data, with the mean absolute error and the mean peak error 0.65 m and 0.16 m respectively. That means the simulation of typhoon waves is successful, especially for the severe waves. Then we simulated the typhoon waves during typhoon USAGI in 2013 with this modeling scheme, the simulated waves shows good agreement with the buoy observed data, which means this modeling scheme is appropriate for the typhoon wave forecast in Taiwan Strait.

The numerical experiment which typhoon stayed in the Fujian coast was taken out, and the result showed the distribution rules of the significant wave heights along the Fujian coast: ①the maximum of the significant wave heights is in the right side of the typhoon center (the right-side from sea to land), which is consistent with the location of the maximum wind speed onshore; ②the significant wave height decreases slowly from the right of the location of the maximum wind speed onshore; ③the significant wave height decreases rapidly from the left of the location of the maximum wind speed onshore; ④the significant wave height still has a low value from the typhoon center to the location of maximum wind speed offshore; ⑤the significant wave height is almost zero at the location of maximum wind speed offshore. Those rules can explain the distribution of the typhoon waves when typhoon

stops at a straight coast.

The numerical experiment which typhoon stayed in the center of Taiwan Island was taken out, and the result showed the distribution rules of the significant wave heights along the mid-line in Taiwan Strait: both of the maximum significant wave heights driven by Chen typhoon wind model and Holland typhoon wind model occurred near the center of Taiwan Strait, and decreases from the center. The significant wave heights driven by Chen typhoon wind model is higher than that driven by Holland typhoon wind model with about 1 meter.

Key words: Taiwan Strait; SWAN model; typhoon wave; cold wave; numerical simulation; numerical experiment

第一章 绪论

1.1 研究意义和目的

中国是一个海洋大国，海洋面积近 300 万平方公里，拥有 1.8 万公里长的海岸线，居全球第四位。如此长的海岸线也意味着受到海洋灾害影响的区域也将十分广泛，而海洋灾害中又以由热带风暴及台风引起的风暴潮灾害和海浪灾害为首。据统计（贾晓，2010），1949 年到 2009 年期间，年均登陆我国沿海的热带气旋达到了 9.2 个，我国已经成为世界上热带气旋登陆最多、受灾最严重的国家之一。我国海域每年都有 6m 以上的灾害性海浪发生，年平均为 28 次，台风浪占 41% 左右，其中 73% 的台风浪发生在 7 月份~10 月份的台风季节。每年台风浪对我国海岸工程、船舶以及海水养殖等的危害所造成的经济损失超过 7 亿元（沙伟和倪文胜，1998）。

台湾海峡位于福建省与台湾岛之间，北接东海，南通南海，海峡内浅滩、大小岛屿分布其中，海底地形十分复杂。水深大多在 40 m 至 80 m 之间，东南侧水深较大可达到 1400 m。夏季受热带风暴及台风影响，风暴潮、台风浪灾害十分严重。0908 号“莫拉克”台风于 8 月 4 日凌晨在太平洋西北洋面上生成后，强度不断加强，路径复杂多变，先后登陆台湾与福建，而且两次登陆的近中心最大风速都在 33 m/s 以上，台湾、福建和浙江等地区以及周边海域的阵风均有 12 级~15 级，其中最高风速记录在台湾台东县的兰屿，风力达 17 级以上，海上一度产生 10 多米高的巨浪。台风还造成了强降雨。福建、浙江、台湾等部分站点的过程雨量超过了 50 年一遇，其中台湾地区累积雨量超过 2000 毫米，山区更高达 4000 毫米，相当于三天下了一整年的雨量，台湾发生了“八八水灾”。台风造成了巨大的人员伤亡及经济损失，其中台湾死亡 681 人，失踪 18 人，直接经济损失超过 100 亿新台币。浙江省死亡 4 人，失踪 2 人，紧急转移安置了 87.8 万人，直接经济损失 74.6 亿元。福建省死亡 3 人，失踪 1 人，紧急转移安置了 52.7 万人，直接经济损失 15 亿元。

冬季台湾海峡盛行东北季风, 风力一般为 7 级~8 级, 由于台湾中央山脉的存在, 形成了狭管效应, 使得海峡内的风力增强 (林曲凤和梁玉海, 2000)。大风一般要维持 2 天~3 天, 有的持续时间还会更长。当大陆强冷空气南下时, 如果低纬度有热带低压活动, 则会形成强烈的寒潮大风, 风力可达 10 级以上, 其风速相当于轻度台风的强度。给海峡中部与南部带来大的涌浪, 常伴有 3 m~4 m 的大浪甚至 5 m~6 m 的狂浪 (涂礼肃, 2002)。据本文得到的 2013 年 1 月至 3 月份的观测资料显示, 在台湾海峡南部的海浪最大波高可达到 8 m, 如此的大浪对海上船舶航行与作业、港口的生产都将产生巨大的影响。

本文希望通过利用不同风场模型对台湾海峡台风浪的数值模拟寻找出适用于台湾海峡台风浪预报的风场, 形成一种业务化预报台湾海峡台风浪的模型。通过对台湾海峡冬季寒潮浪的数值模拟, 以期能够对寒潮浪的预报工作有所贡献。

1.2 国内外海浪数值模型研究综述

1.2.1 国外海浪模型研究综述

对波浪的研究最早可以追溯到第二次世界大战时期, 出于对诺曼底登陆的需求, Sverdrup 和 Munk 进行了第一次的海浪预报 (Sverdrup & Munk, 1947)。在国内外学者的不懈研究下, 各种波浪数值预报模型被提出并不断的改进, 目前使用比较广泛的数值模型为基于能量平衡方程的波浪数值模型。

Pierson 和 Neumann 首次提出了描述海浪的谱 (Pierson et al., 1955), Phillips (1957a) 和 Miles (1957) 相继提出了风浪生成和成长理论, 同年 Gelci 的工作小组推出了基于动谱能量平衡方程的采用二维波浪谱基本传输方程的海浪数值预报模式, 该模式的源项仅考虑风能输入与白浪耗散项, 忽略了非线性相互作用项, 又称之为第一代海浪模式。该模式对波浪成长描述不够准确, 对地形和气象环境适应性较差, 适用范围窄。

Mitsuyasu (1968) 和 Hasselmann (1973) 等人通过广泛的波浪成长实验及风输入给波浪能量的直接观测实验从根本上改变了谱能量平衡观点, 使得第二代

海浪模型逐渐发展起来。在第二代海浪模式中，参数简化的非线性相互作用被引入到海浪模式中，采用经验的成长关系和理想化或简化的谱形来对整个风浪谱进行模拟。该模式已能够较为合理的模拟大部分天气下的波浪，但对风、浪骤变情况下波浪的模拟并不好。

1985 年，由美国、英国、德国、荷兰以及日本等国的专家组建的 SWAMP (Sea Wave Modeling Project) 研究小组对第一代和第二代海浪模式进行系统的分析并提出：新海浪模式的海浪谱应当采用积分基本谱传输方程来计算，而且不能对谱形进行限制。1987 年 WAMDI (Wave Model Development and Implementation) 工作组开发出 WAM 模型 (Group, 1988)，此模型对谱形不予任何假设，直接参数化所有的源汇项，采用离散相互近似法来估算非线性相互作用项，在不施加任何人为限制的情况下模型计算也会自动达到稳定状态。WAM 模型克服了一代和二代海浪模型的很多不足之处而且为之后的第三代海浪模型的发展奠定了基础，但是由于模型本身对源项积分采用较大且固定的时间步长，在波浪条件发生迅速改变时将导致谱形误差。

在后 WAM 模型时代，各种第三代海浪模式不断涌现。Tolman 在 WAM 的基础上开发了一个全谱空间的第三代海浪模式 WAVEWATCH III (Tolman, 1991)，该模式在控制方程、程序结构、数值与物理处理方法上作了改进，采用更加合理的考虑波-流相互作用和风-浪相互作用等新的物理机制，并运用了更精确的数值积分格式且可以并行计算，提高了模式的性能和效率。WAVEWATCH III 也在 2000 年成为美国国家气象环境预报中心（英文全称，NCEP）的全球业务化预报模式。WAVEWATCH III 主要适用于全球尺度的波浪计算，对于近岸这种浅水效应起主要作用的区域效果并不是很好。

MIKE 21 (Warren & Bach, 1992) 是一个应用于海岸和近海区域二维模型的专业工程模拟系统，可以模拟各种水环境下的水流、波浪、泥沙、水质等运动情况。MIKE 21 SW (Sorensen et al., 2004) 是 MIKE 中全谱风浪模块，它基于 WAM 的第三代海浪模式，采用非结构网格，离散方式运用有限体积法，能够很好的模拟离岸及近岸区域风生浪的成长、消退和传播。MIKE 21 波浪模型被运用于孟加拉湾北部的台风浪预报系统 (Madsen & Jakobsen, 2004)，结果显示在台风登陆

前 24 小时内它有很好的预报效果。

由荷兰理工大学 (Delft University of Technology) 开发的 SWAN (Simulating Waves Nearshore) 模型 (Booij et al., 1999; Ris et al., 1999), 它采用动谱平衡方程来描述波浪的变化过程, 考虑了波浪浅化、折射、底摩擦、波浪破碎、白帽效应、风能输入、水深变化引起的波浪耗散以及非线性的波-波相互作用等物理过程, 能够准确合理的模拟复杂的潮流、地形及风场环境下的波浪场。同时 SWAN 采用了全隐式有限差分格式, 使得时间步长不受空间步长的限制。而 Rogers 运用新的数值计算方法 (Rogers et al., 2002), 减少计算尺度比较大的海域时会产生数值扩散, 使得 SWAN 适用于浅水到大洋各种尺度。

1.2.2 国内海浪模型研究综述

在国外各种海洋模式快速发展的同时, 国内学者也取得了诸多研究成果。60 年代文圣常院士提出了混合型波浪模式 (Wen et al., 1989), 用有效波来表示波浪能量平衡方程, 同时采用风浪成长经验关系得到的源函数取代逐项计算的源函数。国家海洋局第一海洋研究所袁业立院士改进 WAM 模式开发出 LAGFD-WAM 海浪模式 (袁业立等, 1992a 和 1992b), 该模式基于波数谱空间下的能量平衡方程, 考虑了非均匀和非定常流场的作用以及浪流之间的能量交换, 用理论导出的能量耗散源函数取代 WAM 模式中的经验公式, 同时运用了嵌入特征线的计算方法, 使得计算稳定性得到了提高, 该模式在我们海洋工程中得到了较为广泛的应用。此外, 王文质等 (王文质等, 1990) 开发了 BSCS 海浪数值预报模型, 并用于香港附近海域台风浪计算, 模拟效果良好。隋世峰等 (隋世峰, 1988; 章家琳和隋世峰, 1989) 提出 CHGS 台风浪数值预报模型。尹宝树等 (尹宝树和王涛, 1994) 提出一种 YW-SWP 区域性海浪数值预报模型, 在渤海台风及寒潮的后报应用中显示出有较高的精度。

1.2.3 SWAN 模式应用综述

SWAN 模式以其模拟海浪的优越性在国外内都得到了广泛的运用。

在国外, SWAN 模型在诞生之初就被应用于德国和荷兰沿岸 Haringvliet、Norderneyer Seegat 和 Friesche Zeegat 三个不同海域 (Ris et al., 1999) 进行模拟验证并改进。美国的 Jin 和 Ji 以 Okeechobee 湖为算例, 对动谱风浪模型进行验证 (Jin & Ji, 2001), 结果显示 SWAN 模型对各个源项处理比以往的风浪模型要更加合理。比利时的 Padilla-Hernandez 和 Monbaliu 用 SWAN 模型对澳大利亚的 George 湖的风浪场进行模拟 (Padilla-Hernández & Monbaliu, 2001), 比较了四种不同的底摩擦能量耗散。美国的 Wornom 应用 SWAN 模型模拟了 1995 年的 Luis 飓风浪 (Wornom et al., 2001)。葡萄牙的 Pires-Silva 等利用 SWAN 模型对位于葡萄牙西海岸的 SINE 港口北部风浪进行了模拟 (Pires-Silva et al., 2002), 结果显示 SWAN 模型的模拟结果比 WAM 模拟结果更接近 ADCP 观测的结果。在 2009 年 SWAN 被运用于美国东岸弗吉尼亚州的 Wakefield 及北卡罗来纳州的 Newport 和 Wilmington 三个城市的美国国家气象局的天气预报台 (Willis et al., 2010)。美国佛罗里达大学的 Y. Peter Sheng 等利用 SWAN 耦合精细网格的 CH3D (Curvilinear-grid Hydrodynamics in 3D) 模型模拟了 2004 年的 Ivan 飓风过程中的风暴潮、飓风浪以及沿海潮 (Sheng et al., 2010)。

在国内, 2000 年河海大学的徐福敏首次利用 SWAN 模拟了位于雷州半岛的海安湾内的波浪 (徐福敏等, 2000), 结果显示模拟与实测相符。Ou 等 (Ou et al., 2002) 首次用 SWAN 模型对台湾东岸与西岸浅水区域的台风浪进行模拟, 但结果并不理想。陈希等利用 SWAN 模型在考虑了风生浪、底摩擦、白浪效应、深度诱导波破碎、非线性波—波相互作用的基础上, 对 9015 号台风在台湾岛邻近海域引起的海浪进行了模拟 (陈希等, 2002 和 2003), 模拟结果与实测资料符合较好。叶雨颖利用 SWAN 模型通过对 3 次台风浪的模拟分析了 0601 号、0604 号与 0605 号三场台风浪的时空分布特征 (叶雨颖, 2006)。姬厚德利用 SWAN 模型通过数值试验, 讨论了潮位对波浪成长和传播的影响, 采用大小网格嵌套的方法研究了台风期间厦门湾内风浪场的变化规律 (姬厚德, 2007)。张军等用 SWAN 模型并考虑波流相互作用模拟了兴化湾的台风浪 (张军等, 2008), 结果与实测符合良好。林毅辉利用 SWAN 模型模拟了厦门湾的常风浪, 并通过与潮流模型的耦合研究了潮流对风浪场的影响 (林毅辉, 2009)。魏艳利用 SWAN 模型对台湾海峡的台风浪进行了数值模拟, 并做了潮流对海浪影响的数值实验, 定

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库